

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-236527

(43)公開日 平成6年(1994)8月23日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 1 1 B 5/39				
G 0 1 R 33/06		R 8203-2G		
H 0 1 F 10/30				
H 0 1 L 43/08		Z 9274-4M		

審査請求 有 発明の数47 OL (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平6-2326

(22)出願日 平成6年(1994)1月14日

(31)優先権主張番号 0 1 4 9 8 1

(32)優先日 1993年2月8日

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州  
アーモンク (番地なし)

(72)発明者 ブルース・アルヴィン・ガーニー

アメリカ合衆国95051、カリフォルニア州  
サンタ・クララ、フローラ・ヴィスタ・ア  
ベニュー 3770、ナンバー1308

(74)代理人 弁理士 合田 深 (外3名)

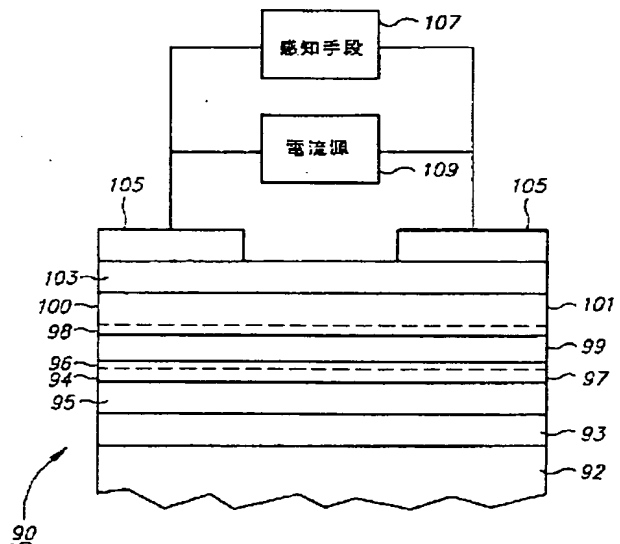
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 非磁性背部層を有する磁気抵抗センサ

(57)【要約】

【目的】 読取り素子の抵抗の成分が、2つの隣接磁気層の磁化方向間の角度の余弦として変化する、スピン・バルブ効果に基づく磁気抵抗読取りセンサを提供すること。

【構成】 センサ読取り素子は、非磁性金属層によって分離された2つの隣接する強磁性層を含む。非磁性導電材料層を、フィルタ層と呼ばれる一方の強磁性層に隣接しかつそれと接触させて付着して、隣接するフィルタ層を介して伝導される伝導電子の低抵抗経路を提供する背部層または導電層を形成する。フィルタ層の厚さは、該層が、磁化方向に逆平行なスピンをもつ伝導電子を有効に遮断し、かつ平行スピンをもつ伝導電子は該層を介して隣接背部層に伝導させるように選択する。フィルタ層の磁化は、印加された磁界にตอบสนองして自由に回転し、それによって背部／フィルタ層中の伝導電子に対する電気抵抗が有効に変化する。背部層の厚さは、測定中のセンサ・パラメータが最適化されるように選択し、約4.0 Åないし1000 Åの範囲とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】非磁性材料スペーサ層によって分離されており、印加磁界がゼロのとき、第1の強磁性材料層の磁化方向が第2の強磁性材料層の磁化方向に対してほぼ垂直である、第1および第2の強磁性材料層と、前記第1の強磁性層に隣接しかつこれと接触する非磁性導電材料背部層と、

前記第2の強磁性層の磁化を所望の方向に維持する手段とを備えることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項2】前記手段が、前記第2の強磁性層に隣接しかつこれと接触し、かつ前記第2の強磁性層中に、前記第2の強磁性層中の磁化を所望の方向に維持するためのバイアス磁界を提供する、反強磁性材料交換バイアス層を備えることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項3】前記反強磁性層が、鉄マンガンを含有する群から選択された材料から構成されることを特徴とする、請求項2に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項4】前記反強磁性層が、鉄マンガンの合金から構成されることを特徴とする、請求項3に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項5】前記反強磁性層の厚さが約50Åないし約150Åの範囲内であることを特徴とする、請求項2に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項6】前記非磁性背部層の最小厚さが、約4Åであることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項7】前記非磁性背部層の最大厚さが、前記非磁性背部層材料中の伝導電子の平均自由行程長の約3倍であることを特徴とする、請求項6に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項8】前記非磁性背部層の厚さが、約4Åないし約1000Åの範囲内であることを特徴とする、請求項6に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項9】前記非磁性背部層の厚さが、約4Åないし約60Åの範囲内であることを特徴とする、請求項6に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項10】前記第1および第2の強磁性層の厚さが、約5Åないし約150Åの範囲内であることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項11】前記第1の強磁性層の厚さが、約5Åないし約30Åの範囲内であることを特徴とする、請求項10に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項12】前記非磁性スペーサ層の厚さが、前記非磁性スペーサ材料中の伝導電子の平均自由行程長未満であることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項13】前記非磁性スペーサ層の厚さが、約10Åないし約40Åの範囲内であることを特徴とする、請

求項12に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項14】前記非磁性スペーサ層が、銀、金、銅、ならびに銀、銅、金の合金から成る群から選択された材料から構成されることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項15】前記非磁性スペーサ層が、銅薄膜層を備えることを特徴とする、請求項14に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項16】前記非磁性背部層が、銀、金、銅から成る群から選択された材料から構成されることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項17】前記非磁性背部層が、銅薄膜層を備えることを特徴とする、請求項16に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項18】前記第1および第2の強磁性層のうちの少なくとも一方が多層構造を備えることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項19】前記多層構造が、交互に積層された、少なくとも1つの第1の強磁性材料層と少なくとも1つの第2の強磁性材料層を備えることを特徴とする、請求項18に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項20】前記第1の強磁性層が、前記非磁性スペーサ層に隣接して形成された薄いコバルト層と、薄いニッケル鉄層とを備えることを特徴とする、請求項18に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項21】前記第1および第2の強磁性層がそれぞれ、前記非磁性スペーサ層に隣接して形成された薄いコバルト層と、薄いニッケル鉄層とを備えることを特徴とする、請求項18に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項22】前記薄いコバルト層の厚さが、約0.5Åないし約20Åの範囲から選択された厚さであることを特徴とする、請求項21に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項23】前記非磁性背部層と前記非磁性スペーサ層が同じ材料を含むことを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項24】前記非磁性背部層と前記非磁性スペーサ層が異なる材料を含むことを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項25】データを記録するための複数のトラックをもつ磁気記憶媒体と、

前記磁気トランスデューサと前記磁気記憶媒体の間の相対運動中に、前記記憶媒体から近い間隔の位置に維持される磁気トランスデューサとを備え、

前記磁気トランスデューサが、磁気抵抗センサを含み、前記磁気抵抗センサが、

非磁性材料スペーサ層によって分離されており、印加磁界がゼロのとき、第1の強磁性材料層の磁化方向が第2の強磁性材料層の磁化方向に対してほぼ垂直である、第1および第2の強磁性材料層と、

前記第1の強磁性層に隣接しかつこれと接触する非磁性

導電材料背部層と、

前記第2の強磁性層の磁化を所望の方向に維持するバイアス手段と、

前記磁気トランスデューサに結合されており、前記磁気トランスデューサを前記記憶媒体上の選択されたトラックに移動するアクチュエータ手段と、

前記磁気抵抗センサに結合されており、前記磁気媒体に記録されたデータ・ビットを表す磁界に応答して前記磁気抵抗センサの抵抗変化を検出する検出手段とを備えることを特徴とする磁気記憶システム。

【請求項26】前記バイアス手段が、前記第2の強磁性層に隣接しかつこれと接触し、かつ前記第2の強磁性層中に、前記第2の強磁性層の磁化を所望の方向に維持するためのバイアス磁界を提供する、反強磁性材料交換バイアス層を備えることを特徴とする、請求項25に記載の磁気記憶システム。

【請求項27】前記反強磁性層が、鉄マンガンを含有する群から選択された材料から構成されることを特徴とする、請求項26に記載の磁気記憶システム。

【請求項28】前記磁気抵抗センサが、さらに前記反強磁性層上に付着されたキャッピング層と、前記キャッピング層上に付着されており、前記磁気抵抗センサを前記検出手段に結合する電気リード線手段とを備えることを特徴とする、請求項25に記載の磁気記憶システム。

【請求項29】前記キャッピング層が、タンタルおよびジルコニウムから成る群から選択された材料を備えることを特徴とする、請求項28に記載の磁気記憶システム。

【請求項30】前記非磁性スペーサ層が、銀、金、銅、ならびに銀、銅、金の合金から成る群から選択された材料から構成されることを特徴とする、請求項26に記載の磁気記憶システム。

【請求項31】前記非磁性スペーサ層が、銅薄膜層を備えることを特徴とする、請求項30に記載の磁気記憶システム。

【請求項32】前記非磁性背部層が、銀、金、銅から成る群から選択された材料から構成されることを特徴とする、請求項25に記載の磁気記憶システム。

【請求項33】前記非磁性背部層が、銅薄膜層を備えることを特徴とする、請求項32に記載の磁気記憶システム。

【請求項34】非磁性材料スペーサ層によって分離されており、印加磁界がゼロのとき、第1の強磁性材料層の磁化方向が第2の強磁性材料層の磁化方向に対してほぼ垂直である、第1および第2の強磁性材料層と、前記第1の強磁性材料層に隣接しかつこれと接触する非磁性導電材料背部層とを備えることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項35】前記非磁性背部層の最大厚さが、約4Åであることを特徴とする、請求項34に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項36】前記非磁性背部層が、銀、金、銅から成る群から選択された材料から構成されることを特徴とする、請求項34に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項37】非磁性材料スペーサ層によって分離された第1および第2の強磁性層と、

それ自体と前記スペーサ層との間に配設された前記第1の強磁性層に隣接しかつこれと接触する、第1の非磁性導電材料背部層と、

それ自体と前記スペーサ層との間に配設された前記第2の強磁性層に隣接しかつこれと接触する、第2の非磁性導電材料背部層とを備えることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項38】前記第1および第2の非磁性背部層の最小厚さが、約4Åであることを特徴とする、請求項37に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項39】前記第1および第2の非磁性背部層の最大厚さが、前記非磁性背部層材料中の伝導電子の平均自由行程長の約3倍であることを特徴とする、請求項38に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項40】前記第1および第2の非磁性背部層の厚さが、約4Åないし約1000Åの範囲内であることを特徴とする、請求項38に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項41】前記第1および第2の非磁性背部層の厚さが、約4Åないし約60Åの範囲内であることを特徴とする、請求項38に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項42】前記第1および第2の強磁性層の厚さが、約5Åないし約30Åの範囲内であることを特徴とする、請求項37に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項43】前記非磁性スペーサ層の厚さが、前記非磁性スペーサ材料中の伝導電子の平均自由行程長未満であることを特徴とする、請求項37に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項44】前記非磁性スペーサ層の厚さが、約10Åないし約40Åの範囲内であることを特徴とする、請求項43に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項45】前記非磁性スペーサ層が、銀、金、銅、ならびに銀、銅、金の合金から成る群から選択された材料から構成されることを特徴とする、請求項37に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項46】前記第1および第2の非磁性背部層が、銀、金、銅から成る群から選択された材料から構成されることを特徴とする、請求項37に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項47】前記第1および第2の非磁性背部層がそれぞれ、銅薄膜層を備えることを特徴とする、請求項46に記載の磁気抵抗センサ。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、全体として、磁気媒体に記憶された情報信号を読み取る磁気トランスデューサに関し、詳しくは、印加された磁界を感知する磁気抵抗要素が非磁性導電材料から成る背部層を含む、スピン・バルブ効果に基づく磁気抵抗読取りトランスデューサに関する。

【0002】従来の技術では、データを高い線密度で磁気記憶媒体から読み取るために、磁気抵抗 (MR) センサまたはヘッドと呼ばれる磁気読取りトランスデューサを使用する方法がよく知られている。MRセンサは、磁気材料で製造された読取り素子の抵抗変化による磁界信号を、読取り素子が感知する磁束の強さおよび方向の関数として検出する。これらの従来の技術のMRセンサは、読取り素子抵抗の成分が、磁化と、該読取り素子を通過する感知電流の方向との間の角度の余弦の平方 ( $\cos^2$ ) として変化する、異方性磁気抵抗 (AMR) 効果に基づいて動作する。AMR効果の詳細は、D. A. トムソン (Thompson) らの論文 "Memory, Storage, and Related Applications", IEEE Trans. Mag. MAG-11, 1039ページ (1975年) に記載されている。

【0003】最近では、 $(F/NM)_n$  ( $F$ は強磁性金属、 $NM$ は非強磁性金属) の形の磁気多層構造中の伝導電子のスピン依存散乱効果による、従来とは異なるよりはっきりした磁気抵抗が観察されている。この効果は、強磁性層の強反強磁性カップリングを示す、スパッタリングされた  $Fe/Cr$ 、 $Co/Cu$ 、または  $Co/Ru$  多層や、1つの強い磁性層中の磁化方向が交換異方性によって固定される、 $F/NM/F$  の形の本質的にカップリングされていない成層構造など、様々な系中で発見されている。磁気抵抗の物理的源泉は、どちらの種類の構造でも同じである。すなわち、磁界が印加されると、隣接する強磁性層の磁化の相対的方向が変化する。構造の抵抗は、磁化のアラインメントが平行から逆平行に変わるとき変化する。この機構は、材料の特定の組合せの場合に、AMRよりも大きくなり、「スピン・バルブ」磁気抵抗 (SVMR) または巨大磁気抵抗 (GMR) と呼ばれる磁気抵抗を生成する。

【0004】米国特許第4949039号は、磁気層中の磁化の逆平行アラインメントによって改善されたMR効果をもたらす成層磁気構造を記載している。上記特許では、成層構造で使用できる材料として、強磁性遷移金属および合金を挙げているが、優れたMR信号振幅用のリストで好ましい材料を特定してはいない。上記特許はさらに、反強磁性型交換カップリングを使用して、隣接する強磁性材料層が、たとえばクロム (Cr) やイットリウム (Y) の薄い非磁性中間層によって分離される、逆平行アラインメントを得る方法を記載している。

【0005】米国特許出願第07/625343号は、2つの非カップリング強磁性層間の抵抗が、2つの層の

磁化の間の角度の余弦として変化する、センサを通過する電流の方向とは独立である、MRセンサを開示している。この構造は、スピン・バルブ効果に基づき、材料の特定の組合せによってはAMRよりも大きくなる、磁気抵抗を生成する。

【0006】米国特許第5159513号は、前述のスピン・バルブ効果に基づき、非磁気金属材料の薄膜層によって分離された2つの強磁性材料薄膜層を含み、少なくとも一方の強磁性層がコバルトまたはコバルト合金から成る、MRセンサを開示している。一方の強磁性層の磁化は、外部印加磁界がゼロのとき、反強磁性層との交換カップリングによって、他方の強磁性層の磁化に対して垂直に維持される。

【0007】今日の磁気記憶システムのデータ記憶密度に対する増大し続ける要求を満たすためには、MRヘッドの磁束感知素子を、ますます薄い強磁性材料層で製造する必要がある。たとえば約15Åの超薄磁束感知層を使用するMRセンサは、従型のAMRセンサの場合でも、より新しいSVMRまたはGMRセンサの場合でも、MR係数が低下する。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の原理によれば、スピン・バルブ効果に基づくMR読取りセンサは、非磁気金属材料の薄膜層によって分離された第1および第2の強磁性材料薄膜層を含む、適切な基板上に形成された成層構造を備えている。少なくとも第1の強磁性材料層は、非磁性導電材料層によって裏打ちされる。外部印加磁界がゼロのとき、第1の強磁性材料層の磁化方向は、第2の強磁性材料層の磁化方向に対してほぼ垂直である。第2強磁性層の磁化方向は、該層と物理的に接触する隣接する反強磁性材料層によって提供される交換カップリングによってその方向が拘束または維持（「固定」）される。第1の（「自由」）強磁性層中の磁気方向は、外部印加磁界に応じて自由に回転する。電流源がMRセンサに感知電流を提供し、MRセンサは、感知される印加外部磁界の関数として、自由強磁性材料層中の磁化の回転によるMRセンサの抵抗の変動に比例する電圧降下を、読取り素子の両端間に発生させる。読取り素子の抵抗変化の大きさは、磁気媒体に記憶されたデータ・ビットを表す磁界などの外部印加磁界に応じた、自由層中の磁化方向と固定層の磁化方向の間の角度の変化の余弦の関数である。

【0009】図1を参照すると、本発明は、図1に示すような磁気ディスク記憶システムで実施されたものとして説明するが、磁気テープ記録システムなど他の磁気記憶システムや、磁気抵抗要素がたとえばビット・セルとして働く磁気ランダム・アクセス・メモリ・システムにも適用できることに留意されたい。少なくとも1つの回転可能な磁気ディスク12が、スピンドル14上に支持され、ディスク・ドライブ・モータ18によって回転さ

れる。各ディスク上の磁気記録媒体は、磁気ディスク12上の、環状パターンの形の同心データ・トラック（図示せず）である。

【0010】少なくとも1つのスライダ13がディスク12上に位置決めされ、各スライダ13が1つまたは複数の磁気読取り／書込みトランスデューサ21を支持する。これらのトランスデューサ21を通常、読取り／書込みヘッドと呼ぶ。磁気ディスク12が回転すると、スライダ13は、ディスク表面22上に近づいたり、該表面22から離れたたりして、所望のデータが記録されているディスクの個々の部分にヘッド21が接近できるようになる。各スライダ13は、サスペンション15によってアクチュエータ・アーム19に取り付けられている。サスペンション15は、わずかなばね力を与え、このばね力がスライダ13をディスク表面22に対してバイアスさせる。各アクチュエータ・アーム19は、アクチュエータ手段27に取り付けられている。図1に示すアクチュエータ手段は、たとえばボイス・コイル・モータ（VCM）とすることができる。VCMは、固定磁界内で移動可能なコイルを備えており、コイル移動の方向および速度は、制御装置によって供給されるモータ電流信号によって制御される。

【0011】ディスク記憶システムの動作中は、磁気ディスク12の回転によって、スライダ13とディスク表面22の間に空気軸受が生成され、スライダ13に上向きの力または揚力をかける。空気軸受はこうして、サスペンション15のわずかなばね力との釣り合いを取り、スライダ13をディスク表面22からわずかに上方に離れた位置に支持し、動作中わずかなばね一定した間隔を維持する。

【0012】ディスク記憶システムの様々な構成要素は、動作中、アクセス制御信号や内部クロック信号など、制御機構29で生成される制御信号によって制御される。通常、制御機構29は、たとえば論理制御回路、記憶手段、マイクロプロセッサなどを備えている。制御機構29は、線23上のドライブ・モータ制御信号や線28上のヘッド位置制御信号およびシーク制御信号などの制御信号を生成して、様々なシステム動作を制御する。線28上のヘッド位置制御信号およびシーク制御信号は、選択されたスライダ13を、関連する磁気ディスク12上の所望のデータ・トラックまで最適に移動して位置決めするための所望の電流プロファイルを提供する。読取り信号および書込み信号は、記録チャネル25によってヘッド21との間で送信される。

【0013】典型的な磁気ディスク記憶システムについての前記説明と、添付の図1の図面は、例示だけを目的としたものである。ディスク記憶システムが多数のディスクおよびアクチュエータを含むことができ、各アクチュエータが多数のスライダを支持できることに留意されたい。

【0014】図2を参照すると、本発明の原理によるMRスピン・バルブ・センサ30は、たとえばガラス、セラミック、半導体などの適切な基板31を備えており、基板31上に、非磁性または磁性導電材料の薄膜層33、第1の軟強磁性材料の薄膜層35、非磁性金属材料の薄膜層37、および第2の強磁性材料の薄膜層39が付着されている。第1の軟強磁性材料薄膜層35は、非磁性または磁性導電材料薄膜層33上に直接、かつ該層と物理的に接触するように形成されて二層を形成する。2つの強磁性材料層35、39の磁化は、外部印加磁界がある場合、矢印32および38で示すように、互いに約90°の角度に配向される。また、第2の強磁性材料薄膜層39の磁化方向は、矢印38で示す好ましい方向に固定される。したがって、第2の強磁性材料薄膜層39の磁化方向は固定されているが、第1の軟強磁性材料薄膜層35は、図2の第1の軟強磁性材料薄膜層35上の点線矢印で示すように、（図2に示す磁界hなどの）外部印加磁界に応じて自由に方向を回転する。

【0015】比較的高い電気抵抗をもつ交換バイアス材料の薄膜層41を、第2の強磁性材料薄膜層39と直接接触するように付着し、交換カップリングによってバイアス磁界を提供する。好ましい実施例では、交換バイアス材料薄膜層41は、たとえば鉄マンガ（FeMn）やニッケル・マンガ（NiMn）であることが好ましい、適切な反強磁性材料を備えている。また、第2の強磁性材料薄膜層39（固定層）は、硬バイアス層（図示せず）を使用して、あるいは当技術分野で周知の他の適切な方法で固定することができる。

【0016】センサ読取り素子が強磁性／非磁性／強磁性成層構造を備える、スピン・バルブ効果に基づくMRセンサは、参照によって本明細書に合体する、先に参照した米国特許出願第07/625343号に詳細に記載されている。この特許に記載されているスピン・バルブMR構造は、非磁性金属（導電）スペーサ層によって分離された2つの強磁性導電層を備えている。一方の強磁性層は、隣接する反強磁性層との交換異方性によってその方向が固定された、単一磁区状態に維持される。他方の強磁性層（自由層）の磁化は、印加磁界に応じて方向を回転する。固定層に対して自由層の磁化方向を変えるのに十分な磁界を印加することによって、磁気抵抗が観測される。本発明では、この自由層を備えた強磁性層の代りに二層構造を使用する。非磁性金属材料薄膜層37（「スペーサ層」とも称する）に隣接する層は、比較的薄い第1の軟強磁性材料薄膜層35（「フィルタ層」とも称する）である、第1の軟強磁性材料薄膜層35の後ろまたは背部には非磁性または磁性導電薄膜層33（「背部層」とも称する）がある。

【0017】磁性材料で観測されるGMRは主として、磁性材料の磁化方向に平行なスピンをもつ伝導電子の平均自由行程（ラムダ）と、磁性材料の磁化方向と逆平

行なスピンをもつ伝導電子の平均自由行程（ラムダ）の差によるものである。本発明では、自由層33、35における第1の軟強磁性材料薄膜層35の厚さは、ラムダよりも大きく、ラムダ+よりも大幅に小さい。したがって、逆平行スピンをもつ伝導電子（少数キャリア）は、第1の軟強磁性材料薄膜層35によって有効にブロックされ（すなわち、フィルタ・アウトされ）るが、第1の軟強磁性材料薄膜層35は、平行スピンをもつ伝導電子（多数キャリア）に対して本質的に透過的である。第2の強磁性材料薄膜層39で発生する（第2の強磁性材料薄膜層39の磁化方向に対する）多数キャリアおよび少数キャリアは、第1の軟強磁性材料薄膜層35に向かって移動するキャリアである。これらのキャリアは、自由層33、35磁化が回転するとき個別に散乱することができるので、GMRをもたらし。GMRに寄与する伝導電子は、反対方向に、第1の軟強磁性材料薄膜層35から第2の強磁性材料薄膜層31へと移動するが、平均すると同じ方向に動くので、説明を省く。同様に、非磁性金属材料薄膜層37で発生するあらゆる多数キャリアに対しては、同じ位置で発生し、同じ運動量をもつ少数キャリアがあるので、自由層33、35の磁化が回転しても、平均自由行程の和は変化しない。

【0018】本発明の構造で観測されるGMRは、抵抗ではなく、コンダクタンス（ $\Delta G$ ）の変化によって説明することができる。これは、 $\Delta G$ が、基本的にはスピン・バルブMRに関連する測定可能なマクロ量であることが分かっているからである。

【0019】第2の強磁性材料薄膜層39から非磁性金属材料薄膜層37に放出される、すなわち散乱する伝導電子について考えると、散乱が層間散乱であれバルク散乱であれ、第2の強磁性材料薄膜層39と非磁性金属材料薄膜層の間付近で散乱する少数キャリアは、非磁性金属材料薄膜層37を交差する少数キャリアの数を意味する。少数キャリアがその次の散乱事象の前に移動する距離は、多数キャリアの場合よりもはるかに短い。このように考えると、第2の強磁性材料薄膜層39は、残りのスピン・バルブ構造のスピン分極伝導電子の供給源とみなすことができる。第2の強磁性材料薄膜層39で発生するキャリアは、一般にスペーサ層材料中の電子の平均自由行程よりはるかに厚さの小さな非磁性金属材料薄膜層37中を移動し、第1の軟強磁性材料薄膜層35中に入る。第1の軟強磁性材料薄膜層35に入る多数キャリアは、第1の軟強磁性材料薄膜層35を介して非磁性または磁性導電材料薄膜層33に伝導され、該層33中で、平均して背部層材料で決定される追加平均自由行程（ラムダ<sub>0</sub>）だけ移動する。しかし、少数キャリアは、散乱される前に、第1の軟強磁性材料薄膜層35をほんの短い距離だけ貫通する。したがって、比較的高い抵抗（すなわち、長い平均自由行程）を有する導電材料を非磁性または磁性導電材料薄膜層33に使用するとき、第

1の軟強磁性材料薄膜層35の磁化が多数キャリア・スピンに対して平行である場合、多数キャリア・コンダクタンスの値が大きくなる。非磁性または磁性導電材料薄膜層33および第1の軟強磁性材料薄膜層35の磁化を回転する（逆平行）と、少数キャリアが第1の軟強磁性材料薄膜層35中で散乱する結果、これらの伝導電子の有効平均自由行程（すなわち、コンダクタンス）が急激に減少する。

【0020】ここで、図3、4、5、および6をも参照すると、図3は、50Å Ta /  $t_{Cu}$  Cu / 15Å NiFe / 23Å Cu / 50Å NiFe / 110Å FeMn / 50Å Ta 構造をもつガラス基板上に付着された、図2に示すスピン・バルブ構造の特定の実施例の、コンダクタンスの変化（ $\Delta G$ は $\Delta R/R^2$ にほぼ等しい）と対非磁性または磁性導電材料薄膜層33の厚さの関係を示す。最初のTa層はバッファ層であり、最後のTa層は保護キャップである。（ $t_{Cu}$  Cu / 15Å NiFe）は、Cuから成る非磁性または磁性導電材料薄膜層33とNiFeから成る第1の軟強磁性材料薄膜層35をもつ自由層33、35を備えている。MnFe層は、反強磁性交換カップリングを提供して、第2の強磁性材料薄膜層39の磁化を固定する、交換バイアス材料薄膜層41を備えている。図3に示すように、 $\Delta G$ は背部層厚さ $t_{Cu}$ が増すにつれて増加する。これは、背部層材料が非磁性である場合でも同様である。図4は、ガラス基板上に付着された自由層の後ろに非磁性背部層がなく、構造（ $t_F$  F / 22Å Cu / 50Å NiFe / 90Å FeMn）を有する従来のスピン・バルブ構造の、 $\Delta G$ と強磁性層の厚さ（自由層）の関係を示す。ただし、Fは異なる厚さをもつFe層、NiFe層、またはCo層である。図3と4を比較すると、自由層の後ろに非磁性背部層を使用すると、背部層のない3つの強磁性材料のどれで得られる $\Delta G$ よりも大幅に大きな $\Delta G$ が提供されることが明らかである。図5は、図3に示す測定に使用されたスピン・バルブ構造の、磁気抵抗（ $\Delta R/R$ ）と背部層厚さ $t_{Cu}$ の関係を示す。 $t_{Cu}=0$ では、 $\Delta R/R=1.1\%$ であり、 $t_{Cu}$ が増加するにつれて $\Delta R/R$ が急激に増加し、 $t_{Cu}=25\text{Å}$ のとき3%のピークに達する。厚さが増すと、 $\Delta R/R$ は逆に減少する。図6は、同じ構造の、面積抵抗Rと $t_{Cu}$ を示す。面積抵抗は、 $t_{Cu}$ が0Åから150Åに増加するとき、250ohm/sqから2.5ohm/sqに変化する。

【0021】次に、図7を参照すると、図2に示すスピン・バルブ構造30は、逆の順序で付着することができる。すなわち、反強磁性磁性バイアスまたは固定層を最初に付着し、次に固定強磁性層、非磁性スペーサ層、および自由フィルタ/背部二層をこの順序で付着する。本発明による逆MRスピン・バルブ・センサ60の好ましい実施例は、適切な基板61上のバッファ層63上に付着された、反強磁性材料交換バイアス層67、第1の強

磁性層69、非磁性金属スペーサ層71、第2の強磁性層73、および非磁性導電材料背部層75を備えている。当技術分野で周知のように、たとえば、非磁性導電材料背部層75の上に、Taなどの高抵抗材料の保護キャッピング層（図示せず）を設けると、以後の処理段階および操作中の構造の酸化を最小限に抑えあるいは防止することができる。図2に関して説明したように、印加磁界がないときは、第1の強磁性層69の磁化方向は、第2の強磁性層73の磁化方向に垂直な好ましい方向に固定されている。逆MRスピン・バルブ構造60では、第1の強磁性層69、非磁性金属スペーサ層71、および第2の強磁性層73の次に非磁性導電材料背部層75が付着される。したがって、これらの層の特性は、非磁性導電材料背部層75の材料の厚さおよび種類とは無関係である。必要に応じて、シード層65を反強磁性材料交換バイアス層67の下に付着して、反強磁性材料が所望の構造をもつようにすることができる。

【0022】特定の好ましい実施例では、逆MRスピン・バルブ・センサ60は、適切な基板上に付着されたTa (50 Å) / NiFe (20 Å) / Fe<sub>60</sub>Mn<sub>40</sub> (80 Å) / Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub> (50 Å) / Cu (23 Å) / Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub> (20 Å) / Cu (20 Å) / Ta (30 Å) 構造をもつ。ここで、20 ÅのCu層は非磁性導電材料背部層75を形成する。50 Å Ta / 20 Å NiFe バッファ / シード63 / 65層は、反強磁性相中でFe<sub>60</sub>Mn<sub>40</sub>材料を適切に成長させて、第1の強磁性層69の磁化方向を固定する交換バイアスを提供するための、テンプレートとなる。この好ましい実施例では、バッファ層63の厚さは約30 Åないし50 Åの範囲である。シード層65の厚さは約20 Åないし50 Åの範囲である。反強磁性材料交換バイアス層67の厚さは約80 Åないし120 Åの範囲である。第1の強磁性層69の厚さは約30 Åないし100 Åの範囲である。前述のように、非磁性金属スペーサ層71の厚さは約20 Åないし40 Åの範囲であるが、スペーサ層材料中の伝導電子の平均自由行程よりも小さいことが好ましい。第2の強磁性層73の厚さは約5 Åないし30 Åの範囲である。非磁性導電材料背部層75の厚さは、部分的には、印加された磁性信号を検出するためにどのパラメータを測定するかによって決まる。抵抗の変化、すなわち $\Delta R/R$ を測定する場合、非磁性導電材料背部層75の厚さは約4 Åないし50 Åの範囲である。また、コンダクタンスの変化を測定する場合は、非磁性導電材料背部層75の厚さは約4 Åないし1000 Åの範囲である。

【0023】次に、図8を参照すると、本発明によるMRスピン・バルブ・センサの他の好ましい実施例は、たとえばガラス、セラミック、半導体などの適切な基板81上のバッファ層83上に付着された、第1の非磁性導電材料背部層85、第1の軟強磁性材料薄膜層87、非磁性金属材料薄膜スペーサ層89、第2の軟強磁性材料

薄膜層91、および第2の非磁性導電材料背部層93を備えている。当技術分野で周知のように、たとえば、第2の非磁性導電材料背部層93の上にTaなどの高抵抗材料の保護キャッピング層（図示せず）を設けると、操作および以後の処理段階中の構造の酸化を最小限に抑えあるいは防止することができる。MRセンサ80に感知電流を印加すると、感知電流に伴う磁界が各強磁性層87、91にバイアス磁界を提供し、その結果、各層の磁化方向がセンサ磁化容易軸に対して大きさが等しく向きが反対の角度に配向されるようになる。磁化方向は、強磁性層87、91のどちらでも固定されず、したがって印加された磁界に自由に応答する。第1の背部層および第1の強磁性層が、第1の二層を形成する。同様に、第2の背部層および第2の強磁性層が第2の二層を形成する。磁気信号が印加されると、両方の二層、すなわち自由層の磁化方向が、磁化容易軸に対して大きさがほぼ等しく向きが反対の角度だけ回転し、したがって、各層の磁化間の角度が、一方の強磁性層が固定されたスピン・バルブ構造に比べて2倍変化する。この種の電流バイアスMRスピン・バルブ・センサは、1992年11月17日に出願され、本出願人に譲渡された、参照により本明細書に合体した同時係属の米国特許出願第07/977382号に記載されている。

【0024】次に、図9を参照すると、図2に示したMRスピン・バルブ・センサの他の実施例が示されている。背部層95を付着する前に、たとえばTa、Ru、CrVなどの適切な下層93を基板92に付着する。下層93の目的は、以後の層のテクスチャ、粒度、および形態を最適化することである。形態は、スピン・バルブ構造の大きなMR効果特性を得るうえで重要となり得る。なぜなら、この特性によって、2つの強磁性層97と101の間に極薄非磁性金属スペーサ層99を使用することが可能になるからである。下層93は、電気抵抗シャント効果を最低限に抑えるために高い抵抗を有する必要がある。下層93はまた、図7および9に関して説明したスピン・バルブ構造にも使用される。十分に高い抵抗、十分に平面な表面、適切な結晶構造をもつ材料で基板92を構成するならば、下層93は省略できる。

【0025】下層93上に、非磁性導電材料背部層95、次に第1の軟強磁性材料薄膜層97、非磁性金属材料薄膜層99、第2の強磁性材料薄膜層101、反強磁性材料層103を付着する。2つの強磁性層97、101は、印加磁界がないとき、その磁化が互いに約90°の角度に配向する。前述のように、第2の強磁性材料薄膜層101の磁化方向は、交換カップリングで生成されるバイアス磁界によって位置が固定される。非磁性伝導材料背部層95および第1の軟強磁性材料薄膜層97は、印加された磁界に応じて磁化が自由に回転する、二層を形成する。

【0026】強磁性層97、101は、たとえばCo、

Fe、Niや、NiFe、NiCo、FeCoのようなそれらの合金など適切な磁性材料で製造することができる。第2の強磁性材料薄膜層101の厚さは、約20Åないし約150Åの範囲から選択することができる。反強磁性材料層103は、たとえばNiMnやFeMnなどの適切な反強磁性材料で構成することができ、その厚さは約50Åないし約150Åの範囲から選択することが好ましい。また、第2の強磁性材料薄膜層101の磁化方向は、硬磁性バイアス層を使用して、または固定層に高保磁力磁性材料を使用して、あるいは当技術分野で周知の他の適切な方法で固定することができる。

【0027】フィルタ層として機能する第1の軟強磁性材料薄膜層97は、適切なNiFeまたはCo合金から構成することが好ましく、その厚さは約5Åないし約30Åの範囲から選択される。第1の軟強磁性材料薄膜層97の厚さは、主としてフィルタ/背部二層95/97中でのその機能によって決まる。第1の軟強磁性材料薄膜層97の一目的は、少数キャリアをブロックまたはフィルタ・アウトすることなので、その最小厚さは少数キャリア、すなわちフィルタ層の磁化方向に逆平行なスピンをもつ伝送電子の平均自由行程より大きくする必要がある。たとえば、 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ のラムダは約7Å未満である。同様に、フィルタ層のもう1つの機能は該層を介して多数キャリアを非磁性導電材料背部層95に伝導することなので、その最大厚さは、多数キャリア、すなわちフィルタ層の磁化方向に平行なスピンをもつ伝導電子の平均自由行程より小さくする必要がある。たとえば、 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ のラムダ<sup>\*</sup>は約 $50 \pm 4$ Åである。非磁性導電材料背部層95は、適切な非磁性導電材料から構成することができる。この材料は、比較的高い導電性（すなわち、低い抵抗）をもつ金属であることが好ましい。たとえばAu、Ag、Cuなどの貴金属は大きな応答を与える。非磁性導電材料背部層95の厚さは、使用する感知方法、すなわち測定するパラメータ、 $\Delta R$ 、 $\Delta R/R$ 、または $\Delta G$ に応じてセンサの応答を最適化することによって決定される。たとえば、 $\Delta G$ の大きさは背部層の厚さと共に急激に増加し、最大で、背部層材料中の伝導電子の平均自由行程長の2倍ないし3倍の厚さになる。一方、 $\Delta R$ または $\Delta R/R$ を測定する際の応答は、背部層厚さのピークの関数である。好ましい実施例では、 $\Delta R$ または $\Delta R/R$ を感知し、背部層厚さは約4Åないし60Åの範囲から選択する。 $\Delta G$ を感知する場合、背部層厚さは約4Åないし約1000Åの範囲から選択する。

【0028】非磁性金属材料薄膜層99は高導電性の金属であることが好ましい。Au、Ag、Cuなどの貴金属は大きなMR応答を提供し、PtおよびPdは小さなMR応答を提供するが、CrおよびTaは極めて小さなMR応答を示す。非磁性金属材料薄膜層99の厚さは、2つの強磁性層97、101を十分に磁氣的にデカップ

リングするのに十分な大きさであるが、スペーサ層材料の伝導電子の平均自由行程長より短くなるのに十分な薄さである。非磁性金属材料薄膜層99の厚さは、約10Åないし約40Åの範囲内であることが好ましい。非磁性導電材料背部層95および非磁性金属材料薄膜層99は高導電性の非磁性金属材料からなるが、背部層とスペーサ層を同じ材料で構成する必要はない。背部層とスペーサ層に同じ材料、たとえばCuを使用すると、センサを製造する製造工程の複雑さが軽減される。また、背部層とスペーサ層に異なる材料を使用すると、センサ中で最適なまたは所望の電気特性および磁気特性を得るための柔軟性が増大する。

【0029】次に、MRセンサ上に、たとえばTaやZrなどの高抵抗材料から成るキャッピング層105を付着する。電気リード線105を使用して、MRセンサと電流源109と感知手段107との間の回路経路を形成する。当技術分野で周知のように、最適なMRセンサ応答回路を提供するために、横バイアス層および縦バイアス層（図示せず）など追加のセンサ要素が必要となることもある。好ましい実施例では、印加された磁気信号に応答して第1の軟強磁性材料薄膜層97の磁化が回転する際にMR素子の抵抗、すなわち $\Delta R$ の変化を検出することにより、感知手段107によって磁気信号を感知する。また、印加された磁気信号に応答して第1の軟強磁性材料薄膜層97の磁化が回転する際にMR素子コンダクタンスの変化を感知することによっても磁気信号を検出することができる。1987年11月8日に発行され、本出願人に譲渡された米国特許出願第4712144号に、印加磁界に反応してMR素子コンダクタンスの変化を検出する感知手段が詳細に記載されている。

【0030】図2、7、8、および9を参照して説明した好ましい実施例では、一般に、強磁性層を適切な強磁性材料から成る単一の層として説明した。別法として、図9に示したように、強磁性層97、101の一方または両方が、複数の層をもつ多層構造を備えることができる。この場合、個々の強磁性材料、または強磁性材料と非磁性材料を交互に積層して、所望の磁気特性および電気特性をもつ強磁性層97、101を構築することが可能である。たとえば、好ましい実施例では、第2の強磁性材料薄膜層101が、ナノ層と呼ばれる第1の比較的薄いCo層98と、第2の薄いNiFe層100を備えている。別の好ましい実施例では、第1の軟強磁性材料薄膜層97と第2の強磁性材料薄膜層101の両方が多層構造を備えている。第1の軟強磁性材料薄膜層97は、Coナノ層96およびNiFe層100を備えており、Coナノ層はCu非磁性金属材料薄膜層99に隣接して形成される。同様に、第2の軟強磁性材料薄膜層101は、Coナノ層98およびNiFe層100を備えており、Coナノ層はCu非磁性金属材料薄膜層99に隣接して形成される。Coナノ層96の厚さは、約0.



5 Åないし20 Åの範囲である。ナノ層付き強磁性層を備えたスピン・バルブMRセンサは、1991年8月26日に出版され、本出願人に譲渡された、参照により本明細書に合体された米国特許出願第07/750157号に詳細に記載されている。本発明を好ましい実施例に関して図示し、説明したが、本発明の趣旨、範囲、および教示から逸脱することなく、形式および詳細に様々な変更を加えられることが、当業者には理解されよう。したがって、本明細書で開示された本発明は、単に例示的なものとみなすべきであり、頭記の特許請求の範囲に明記された範囲によってのみ限定される。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を実施した磁気ディスク記憶システムの簡略化されたブロック図である。

【図2】本発明の磁気抵抗センサの原理を示した図である。

【図3】自由層の磁化が、図2に示した磁気抵抗センサの背部層の厚さの関数として平行から逆平行に変化するときの、面積コンダクタンスの変化を示すグラフである。

【図4】背部層のないスピン・バルブMRセンサで、様々な強磁性材料について、自由層の磁化が、自由層の厚さの関数として平行から逆平行に変化するときの、面積コンダクタンスの変化を示すグラフである。

【図5】図2に示した磁気抵抗センサにおいて、磁気抵抗係数を、銅背部層の背部層厚さの関数として示したグラフである。

【図6】図2に示した磁気抵抗センサにおいて、銅背部層の面積抵抗を背部層厚さの関数として示したグラフである。

【図7】本発明の磁気抵抗センサの一実施例の端面図である。

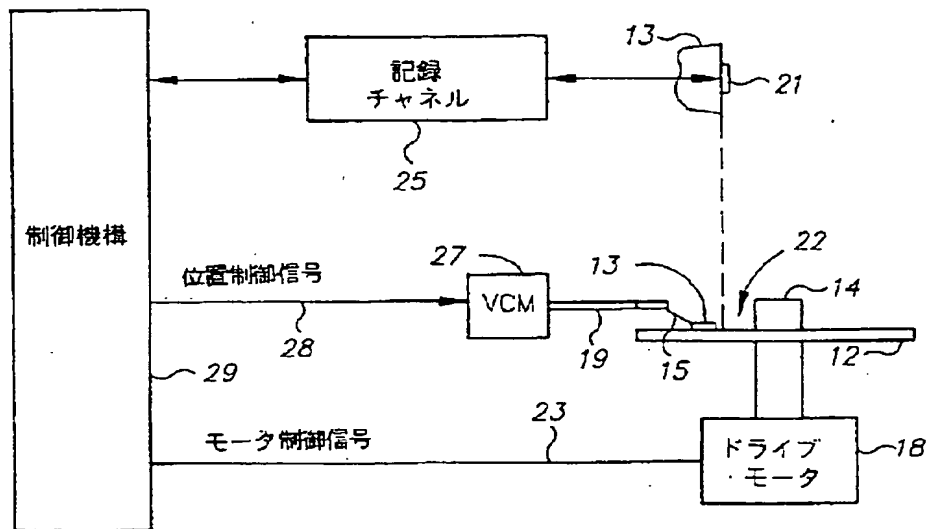
【図8】本発明の磁気抵抗センサの他の実施例の端面図である。

【図9】図2に示した磁気抵抗センサの好ましい実施例を示す概略図である。

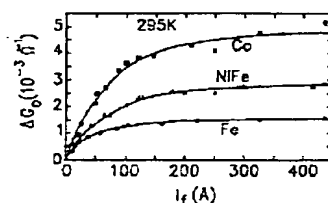
#### 【符号の説明】

- 12 磁気ディスク
- 13 スライダ
- 14 スピンドル
- 15 サスペンション
- 18 ディスク・ドライブ・モータ
- 19 アクチュエータ・アーム
- 21 磁気読取り／書き込みトランスデューサ
- 25 記録チャンネル
- 27 アクチュエータ手段
- 29 制御機構
- 30 MRスピン・バルブ・センサ
- 31 基板
- 33 非磁性または磁性導電材料薄膜層（背部層）
- 35 第1の軟強磁性材料薄膜層（フィルタ層）
- 37 非磁性金属材料薄膜層（スペーサ層）
- 39 第2の軟強磁性材料薄膜層（固定層）

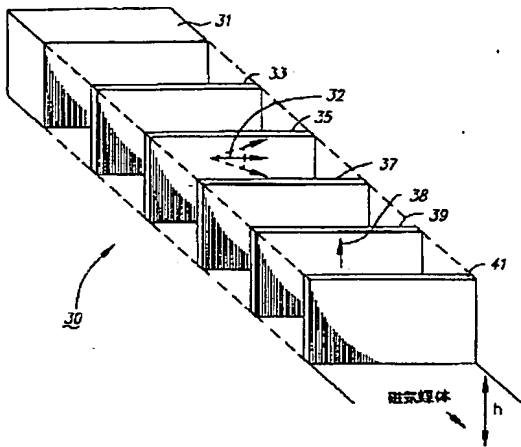
【図1】



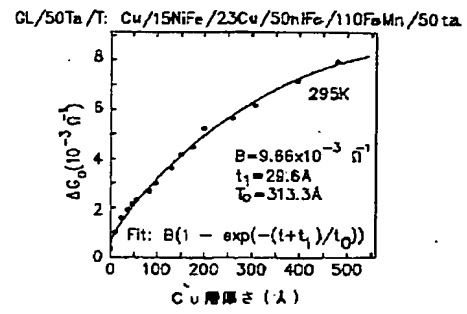
【図4】



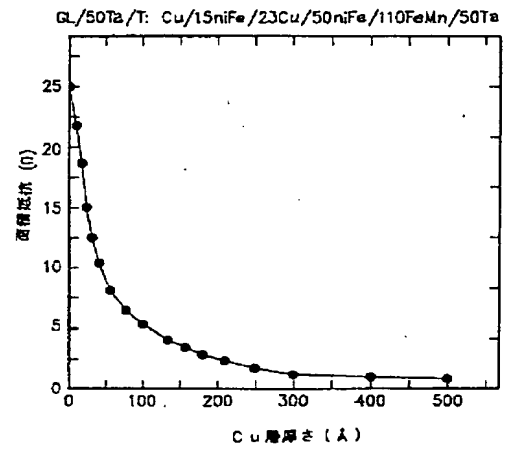
【図 2】



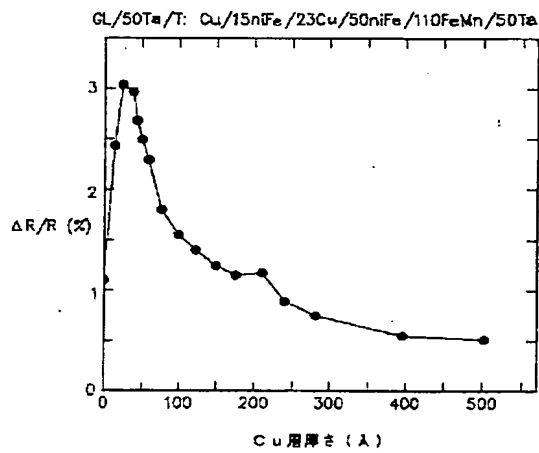
【図 3】



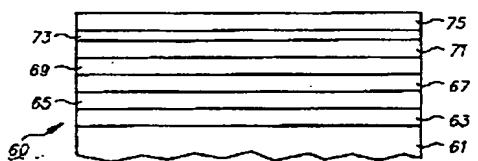
【図 6】



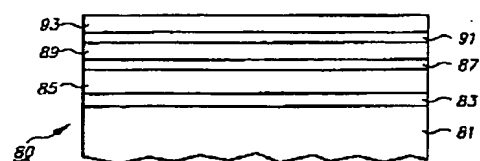
【図 5】



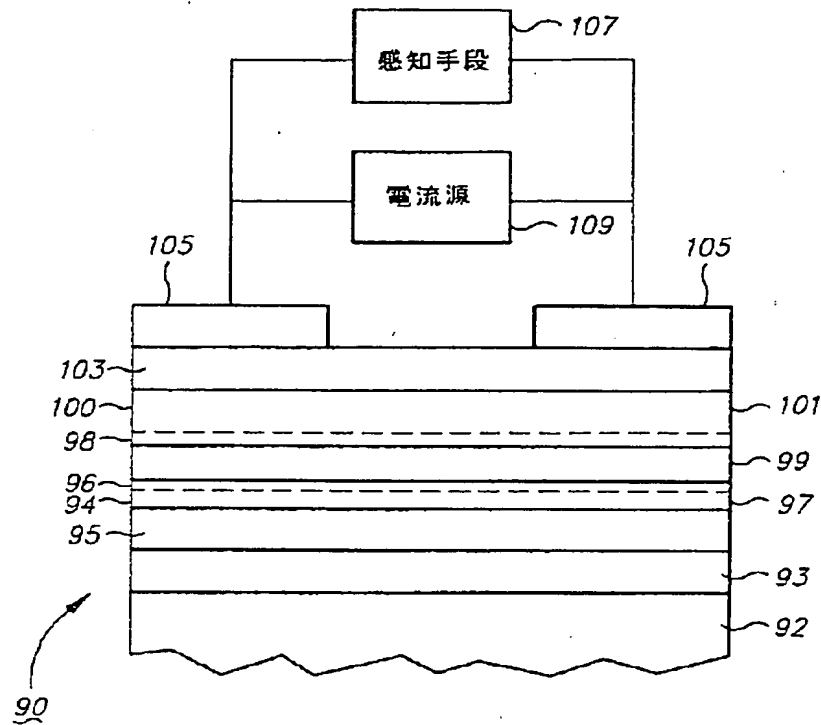
【図 7】



【図 8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 デーヴィッド・ユージン・ハイム  
アメリカ合衆国94062、カリフォルニア州  
レッドウッド・シティー、グラント・スト  
リート 502

(72)発明者 ハラランボス・レファキス  
アメリカ合衆国95126、カリフォルニア州  
サンノゼ、パーシング・アベニュー 737

(72)発明者 オマル・ユー・ニード・ザサード  
アメリカ合衆国95125、カリフォルニア州  
サンノゼ、ミルボンド・ドライブ 325

(72)発明者 ヴァージル・サイモン・スペリオス  
アメリカ合衆国95119、カリフォルニア州  
サンノゼ、セント・ジュリー・ドライブ  
351

(72)発明者 デニス・リチャード・ウィルホイット  
アメリカ合衆国95037、カリフォルニア州  
モーガン・ヒル、スプリング・ヒル・ドラ  
イブ 575

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**